

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-239550
 (43)Date of publication of application : 11.09.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/18
 G02B 6/18
 G02B 6/22

(21)Application number : 09-360378

(22)Date of filing : 26.12.1997

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(72)Inventor : KATOU YASUTOSHI
 SASAOKA HIDEYORI
 ISHIKAWA SHINJI

(30)Priority

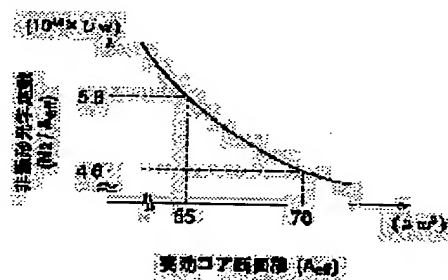
Priority number : 08350691 Priority date : 27.12.1996 Priority country : JP

(54) DISPERSION SHIFT FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion shift fiber suitable for long-distance light transmission by not making zero dispersion wavelength exist in a specific wavelength band, and setting a specific effective core sectional area.

SOLUTION: The dispersion shift fiber has zero dispersion wavelength off a wavelength band of $1.53\mu\text{m}$ – $1.56\mu\text{m}$, and also has the dispersion value with the absolute value of 1.0 – 4.5ps/nm/dm , a dispersion slope with the absolute value of $0.13\text{ps/nm}^2/\text{km}$ or less, effective core sectional area A_{eff} of $70\mu\text{m}^2$ or ore, and transmission loss of 0.25dB/km or less to light of a wavelength band of $1.55\mu\text{m}$ as various characteristics in 1550nm . A nonlinear optical constant (N_2/A_{eff}) of 5.8×10^{-10} ($1/\text{W}$) in case of the sectional area A_{eff} being $55\mu\text{m}^2$ becomes 4.6×10^{-10} ($1/\text{W}$) if the sectional area is $70\mu\text{m}^2$ so as to be reduced by about 20%. Wavelength multiplicity of signal light can therefore be increased in comparison to a conventional dispersion shift fiber.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-239550

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51) Int.Cl.⁶G 0 2 B 6/16
6/18
6/22

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16
6/18
6/22

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-360378
(22) 出願日 平成9年(1997)12月26日
(31) 優先権主張番号 特願平8-350691
(32) 優先日 平8(1996)12月27日
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

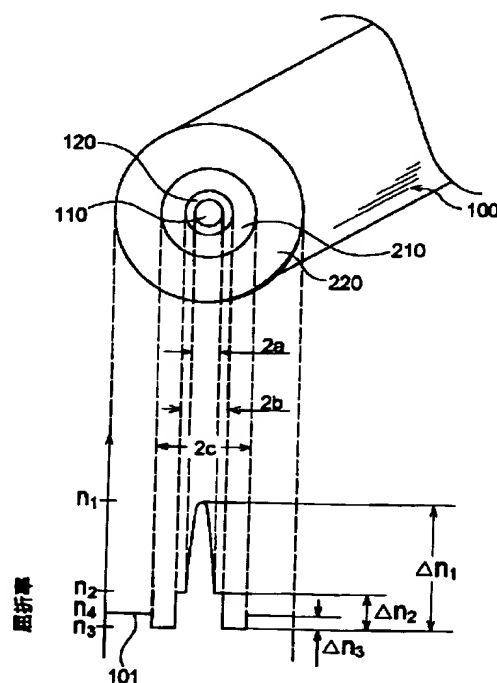
(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(72) 発明者 加藤 考利
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(72) 発明者 笹岡 英資
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(72) 発明者 石川 真二
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 分散シフトファイバ

(57) 【要約】

【課題】 非線形光学効果の発現を有効に抑制するとともに、長距離光伝送に適した構造を備えた分散シフトファイバを提供する。

【解決手段】 この発明に係る分散シフトファイバは、 $1.53 \sim 1.56 \mu\text{m}$ 波長帯から外れた零分散波長を有するとともに、波長 1550nm における諸特性として、絶対値が $1.0 \sim 4.5\text{ps/nm/km}$ の分散値と、絶対値が $0.13\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープと、 $70 \mu\text{m}^2$ 以上の実効コア断面積と、 $1.55 \mu\text{m}$ 波長帯の光に対して 0.25dB/km 以下の伝送損失を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1.53~1.56 μm の波長帯域から外れた零分散波長を有するとともに、波長1550nmにおける諸特性として、

絶対値が1.0~4.5ps/nm/kmの分散と、絶対値が0.13ps/nm²/km以下の分散スロープと、

70 μm^2 以上の実効コア断面積と、

1.55 μm 波長帯の光に対して0.25dB/km以下の伝送損失とを有する分散シフトファイバ。

【請求項2】 直径3.2mmで曲げたときの曲げ損失が、0.5dB/ターン以下であることを特徴とする請求項1記載の分散シフトファイバ。

【請求項3】 前記分散スロープの絶対値は、0.09ps/nm²/km以上であることを特徴とする請求項1記載の分散シフトファイバ。

【請求項4】 所定の屈折率を有するとともに、その外径が2aである内側コアと、

前記内側コアの外周に設けられ、該内側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が2bである外側コアと、

前記外側コアの外周に設けられ、該外側コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、

前記内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備えたことを特徴とする請求項1記載の分散シフトファイバ。

【請求項5】 前記内側クラッドに対する前記内側コアの比屈折率差が Δn_1 、前記内側クラッドに対する前記外側コアの比屈折率差が Δn_2 、前記内側クラッドに対する前記外側クラッドの比屈折率差が Δn_3 であるとき、

$$a/b \leq 0.15$$

$$0.8\% \leq \Delta n_1 \leq 1.2\%$$

$$0.12\% \leq \Delta n_2 \leq 0.30\%$$

$$\Delta n_3 / \Delta n_2 \leq 0.95$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項4記載の分散シフトファイバ。

【請求項6】 前記内側クラッドの外径が2cであるとき、

$$1.2 \leq c/b \leq 3.5$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項5記載の分散シフトファイバ。

【請求項7】 所定の屈折率を有するとともに、その外径が2aである内側コアと、

前記内側コアの外周に設けられ、該内側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が2bである中間コアと、

前記中間コアの外周に設けられ、該中間コアよりも高い屈折率を有するとともに、その外径が2bである外側コアと、

前記外側コアの外周に設けられ、該外側コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、

前記内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備えたことを特徴とする請求項1記載の分散シフトファイバ。

【請求項8】 前記内側クラッドに対する前記内側コアの比屈折率差が Δn_1 、前記内側クラッドに対する前記中間コアの比屈折率差が Δn_2 、前記内側クラッドに対する前記外側コアの比屈折率差が Δn_3 、前記内側クラッドに対する前記外側クラッドの比屈折率差が Δn_4 であるとき、

$$a/c \leq 0.42$$

$$b/c \geq 0.60$$

$$0.5\% \leq \Delta n_1 \leq 1.1\%$$

$$0.2\% \leq \Delta n_3 - \Delta n_2 \leq 0.7\%$$

$$\Delta n_4 / \Delta n_3 \leq 0.95$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項7記載の分散シフトファイバ。

【請求項9】 前記内側クラッドの外径が2dであるとき、

$$1.2 \leq d/c \leq 3.5$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項8記載の分散シフトファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、長距離光通信などで光伝送に使用されるシングルモード光シフトファイバ（以下、Sモード光ファイバという）に係り、特に、波長多重伝送に最適な分散シフトファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、伝送路としてSモード光ファイバが適用された光通信システムでは、通信用信号光として1.3 μm 波長帯または1.55 μm 波長帯の光が利用されることが多かった。ただし、最近では伝送路における伝送損失低減の観点から1.55 μm 波長帯の光の使用が増しつつある。こうした1.55 μm 波長帯の光の伝送路に適用されるSモード光ファイバ（以下、1.55 μm 用Sモード光ファイバという）では、1.55 μm 波長帯の光に対する、その波長分散（波長によって光の伝搬速度が異なるためパルス波が広がる現象）がゼロになるよう設計されている（ゼロ分散波長1.55 μm の分散シフトファイバ）。このような分散シフトファイバとして、特公平3-18161号公報には、コアが内側コアと、該内側コアの屈折率よりも低い屈折率を有する外側コアから構成された、デュアルシェイブコア型屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバが提案されている。更に、特開昭63-43107号公報や特開平2-141704号公報には、上記の二重コア構造に加えて、クラッドが内側クラッドと、内側クラッ

よりも大きな屈折率を有する外側クラッドとから構成された、ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバが提案されている。

【0003】また、近年は、波長分割多重 (WDM) 伝送や光増幅器の登場により長距離光伝送が可能になった。しかし、このような状況下では非線形光学効果の影響は無視できない。そこで、非線形光学効果为了避免のため、上記屈折率プロファイルを変形することにより、零分散波長が信号波長帯域の短波長側又は長波長側にシフトされたファイバも提案されている (特開平7-168046号公報、米国特許番号第5483612号公報)。なお、非線形光学効果とは、光強度の密度等按比例して信号光パルスが歪む現象であり、伝送速度や中継伝送システムにおける中継間隔の制約要因となる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】波長分割多重伝送にあたって提案されている従来の分散シフトファイバでは、零分散波長を信号波長帯域の波長値とは異なる値に設定することにより非線形光学効果の発現を抑制しており、実効コア断面積 A_{eff} は $55\mu m^2$ 程度に設定されている。

【0005】従来の応用例では、従来の波長分割多重伝送用の分散シフトファイバで十分であるが、通信の高度化に伴う今後の波長多重化の進展を鑑みると、従来の技術では、従来の伝送距離で好適な伝送品質を維持し続けることは困難である。

【0006】なお、実効コア断面積 A_{eff} は、特開平8-248251号公報に示されたように、下式で与えられる。

【0007】

【数1】

$$A_{eff} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right)$$

【0008】この発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、非線形光学効果の発現を有効に抑制可能であり、長距離光伝送に適した分散シフトファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る分散シフトファイバは、コア領域とクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とするSモード光ファイバであって、零分散波長が信号光波長帯の短波長側又は長波長側にシフトされた分散シフトファイバである。なお、この発明に係る分散シフトファイバの伝送対象は、中心波長が $1500nm \sim 1600nm$ (信号光波長帯) にある1又は2以上の光である。なお、この明細書において、 $1.55\mu m$ 波長帯の光は、この信号波長帯の光と等価な意

味である。そして、当該分散シフトファイバは、 $1.53\mu m (1530nm) \sim 1.56\mu m (1560nm)$ の波長帯から外れた零分散波長を有するとともに、 $1550nm$ における諸特性として、絶対値が $1.0 \sim 4.5 ps/nm/km$ の分散値と、絶対値が $0.13 ps/nm^2/km$ 以下の分散スロープと、 $70\mu m^2$ 以上の実効コア断面積 A_{eff} と、 $1.55\mu m$ 波長帯の光に対して $0.25 dB/km$ 以下の伝送損失を有することを特徴としている。

10 【0010】ここで、分散値の絶対値が $1.0 ps/nm/km$ よりも小さいと、 $20km$ 以上の長距離光伝送にあたって、四光波混合や変調不安定等による波形の歪が実用上無視できなくなる。一方、分散値の絶対値が $4.5 ps/nm/km$ よりも大きいと、 $20km$ 以上の長距離光伝送にあたって波長分散と自己位相変調とによる波形の歪が実用上無視できなくなる。

20 【0011】また、この発明に係る分散シフトファイバでは、分散スロープの絶対値は $0.13 ps/nm^2/km$ 以下である。したがって、各信号光間での波長分散値の差が小さくなり、各信号光間の波長分散による波形歪量の差を効果的に低減した光伝送が可能となる。

30 【0012】なお、非線形光学効果の発生量は非線形光学定数 (N_2/A_{eff}) に比例する。したがって、伝搬光の条件を同一とした場合に、非線形光学効果の発現を抑制するには、非線形光学定数 (N_2/A_{eff}) を小さくすることが有効である。一方、非線形屈折率 N_2 は、光ファイバの主材によってほぼ決定されるので、主材が同一の光ファイバについては、従来の値から非線形屈折率 N_2 を変化させることにより非線形光学効果の発現を抑制することは困難である。

【0013】そこで、この発明に係る分散シフトファイバは、実効コア断面積 A_{eff} を従来の $55\mu m^2$ から $70\mu m^2$ 以上へと拡大することにより、非線形光学効果の発現量を従来の分散シフトファイバと比較して20%以上低減する。

40 【0014】図1は、代表的な組成の分散シフトファイバに関する、実効コア断面積 A_{eff} と非線形光学定数 (N_2/A_{eff}) との関係を示すグラフである。図1から、実効コア断面積 A_{eff} が $55\mu m^2$ であった場合に $5.8 \times 10^{-10} (1/W)$ であった非線形光学定数 (N_2/A_{eff}) が、実効コア断面積 A_{eff} を $70\mu m^2$ とすると、 $4.6 \times 10^{-10} (1/W)$ となり、約20%低減することが確認される。

【0015】したがって、この発明に係る分散シフトファイバでは、従来の分散シフトファイバと比べて、信号光の波長多重度を増加することが可能となる。

【0016】一般に、強い光の下における媒質の屈折率 N は、光強度によって変わる。したがって、この屈折率 N に対する最低次の効果は、

$$50 \quad N = N_0 + N_2 \cdot E^2$$

ここで、 N_0 ：線形分極に対する屈折率

N_2 ：3次の非線形分極に対する非線形屈折率

E ：電場振幅

で表される。すなわち、強い光の下では、媒質の屈折率 N は N_0 と電場振幅 E の2乗に比例する増加分との和で与えられる。特に、第2項の比例定数 N_2 (単位： m^2/V^2) は非線形屈折率と呼ばれる。また、信号光パルスの歪は、非線形屈折率のうち主に第2項の非線形屈折率の影響を受けるので、この明細書において、非線形屈折率とは、主にこの非線形屈折率を意味する。

【0017】この発明に係る分散シフトファイバは、信号光の入射パワーを従来の分散シフトファイバと比較して約20% (約1 dB) 増加させることができるので、伝送損失を0.2 dB/kmとした場合に、従来よりも5 kmだけ長い伝送距離での信号光の伝送が可能となる。この結果、例えば、従来の中継器間の距離が50 kmであったとした場合に、約10%の中継器の数を低減することができる。

【0018】さらに、この発明に係る分散シフトファイバは、直径3.2 mm (3.2 mm ϕ) で曲げられた場合の曲げ損失が0.5 dB/ターン以下であることを特徴とする。なお、この曲げ損失は、直径3.2 mmの心棒 (mandrel) に被測定対象のファイバを巻きつけた状態で測定され、この測定値を1巻当りに換算した値で与えられる。

【0019】一般に、実効コア断面積 A_{eff} を大きくすると、外周側での光の強度密度が高くなるので、曲げ損失が大きくなる。曲げ損失が大きな光ファイバは、ケーブル化工程、ケーブル敷設、接続の余長処理などによって必然的に発生する曲げにより、大きな光損失が発生することになる。そこで、この発明に係る分散シフトファイバでは、直径3.2 mmで曲げられた場合の曲げ損失を0.5 dB/ターン以下にすることで、ケーブル化工程等で発生する曲げによる光損失を効果的に抑制している。

【0020】さらに、この発明に係る分散シフトファイバは、分散スロープの絶対値が0.09 ps/nm²/km以上であることが好ましい。すなわち、分散スロープが小さいほど、各信号光間での波長分散値の差が小さくなり、各信号光間の波長分散による波形歪みの差を小さく抑制することができる。一方、分散スロープが小さいほど、非線形光学現象の一つである四光波混合が発生する位相整合条件を満たしやすくなる。そのため、この発明に係る分散シフトファイバでは、分散スロープの絶対値が0.09 ps/nm²/km以上、かつ、0.1 *
 $a/b \leq 0.15$
 $0.8\% \leq \Delta n_1 \leq 1.2\%$
 $0.12\% \leq \Delta n_2 \leq 0.30\%$
 $\Delta n_3 / \Delta n_2 \leq 0.95$

なる関係を満たしていることが好ましい。

* 3 ps/nm²/km以下とすることで、信号光の伝送中、波長分散による波形の歪みの変化のみならず、四光波混合をも抑制する。

【0021】以上の特性を実現するため、この発明に係る分散シフトファイバは、デュアルシェイプコア型あるいはセグメントコア型の屈折率プロファイルにより実現可能である。なお、何れの屈折率プロファイルも、ディプレストクラッド構造を有する。

【0022】ここで、この発明に係る分散シフトファイバの第1実施例は、ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する。そして、当該分散シフトファイバの第1実施例は、所定の屈折率を有するとともに、その外径が2aである内側コアと、内側コアの外周に設けられ、内側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が2bである外側コアと、外側コアの外周に設けられ、外側コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、内側クラッドの外周に設けられ、内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備えたことを特徴としている。

【0023】発明者が研究の結果から得た知見によれば、ディプレストクラッド構造を備えない単なるデュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバでは、波長1550 nmにおける分散値の絶対値が1.0~4.5 ps/nm/kmに設定された状態で、実効コア断面積 A_{eff} を大きくすると、カットオフ波長が短くなり、曲げ損失は増加する。また、曲げ損失を低減するために、屈折率プロファイルを調整しカットオフ波長を長くしたとしても、カットオフ波長が信号光の波長以下でなければならないという制限から、十分に曲げ損失を改善することはできない。

【0024】また、発明者の知見によれば、ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバにおける曲げ損失は、単なるデュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する分散シフトファイバの曲げ損失よりも低い。したがって、上述の構造が適用された光ファイバ (ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有する) は、上記諸特性を好適に実現するとともに、曲げ損失も所定値以下に抑えることができる。

【0025】さらに、当該分散シフトファイバの第1実施例は、内側クラッドに対する内側コアの比屈折率差が Δn_1 、内側クラッドに対する外側コアの比屈折率差が Δn_2 、内側クラッドに対する外側クラッドの比屈折率差が Δn_3 であるとき、

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

【0026】これらの関係を満たす分散シフトファイバ

によれば、上記諸特性を好適に実現するとともに、分散スロープの絶対値を $0.09 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以上、かつ、 $0.13 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下にすることができ

【0027】なお、内側コアの屈折率を n_1 、外側コアの屈折率を n_2 、内側クラッドの屈折率を n_3 、及び外側*

$$\Delta n_1 = (n_1^2 - n_3^2) / (2 n_1^2) \quad \dots (5)$$

$$\Delta n_2 = (n_2^2 - n_3^2) / (2 n_2^2) \quad \dots (6)$$

$$\Delta n_3 = (n_4^2 - n_3^2) / (2 n_4^2) \quad \dots (7)$$

で定義される。また、この明細書において、各比屈折率差は百分率で表されている。

$$1.2 \leq c/b \leq 3.5$$

なる関係を満たしていることを特徴とする。

【0029】すなわち、当該分散シフトファイバの第1実施例では、内側クラッドが薄すぎると内側クラッドの存在による効果である曲げ損失の低減効果を十分に発揮できなくなる。また、内側クラッドが厚すぎると内側クラッドが通常のクラッドと同様の役割を果たすことになり、カットオフ波長を短くするというディプレストクラッド型の屈折率プロファイルが得られない。さらに、当該分散シフトファイバは、 $c/b \geq 1.2$ なる関係を満たすとき、直径 3.2 mm で曲られた場合の曲げ損失を 0.5 dB/ターン 以下にすることができる。

【0030】一方、当該分散シフトファイバの第1実施例は、 $c/b \leq 3.5$ なる関係を満たしているので、カットオフ波長を好適に短くことができ、シングルモード伝送可能な信号光の波長領域の確保が容易となる。

【0031】次に、この発明に係る分散シフトファイバの第2実施例は、ディプレストクラッド・セグメントコ★

$$a/c \leq 0.42 \quad \dots (9)$$

$$b/c \geq 0.60 \quad \dots (10)$$

$$0.5\% \leq \Delta n_1 \leq 1.1\% \quad \dots (11)$$

$$0.2\% \leq \Delta n_3 - \Delta n_2 \leq 0.7\% \quad \dots (12)$$

$$\Delta n_4 / \Delta n_3 \leq 0.95 \quad \dots (13)$$

なる関係を満たしていることが好ましい。

【0033】上記式(9)及び(10)は、実効コア断面積 A_{eff} を $70 \mu\text{m}^2$ にするための条件である。波長 1550 nm における分散値の絶対値が $1.0 \sim 4.5 \text{ ps/nm/km}$ となるため、内側クラッドに対する内側コアの比屈折率差 Δn_1 は 0.5% 以上であることが好ましい。また、この比屈折率差 Δn_1 は、波長 1550 nm における分散スロープの絶対値を $0.09 \sim 0.13 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の範囲にするため、 1.1% 以下★

$$1.2 \leq d/c \leq 3.5$$

なる関係を満たしていることを特徴とする。

【0035】すなわち、 $d/c \geq 1.2$ のとき直径 3.2 mm での曲げ損失は 0.5 dB/km 以下となり、(d/c)が 3.5 を越えるとカットオフ波長の低減効果が飽和してしまう。

【0036】

*クラッドの屈折率を n_4 とした場合、この明細書において、内側クラッドに対する内側コアの比屈折率差 Δn_1 、内側クラッドに対する外側コアの比屈折率差 Δn_2 、及び内側クラッドに対する外側クラッドの比屈折率差 Δn_3 は、

10 ※【0028】さらに、当該分散シフトファイバの第1実施例は、内側クラッドの外径が $2c$ であるとき、
 $\dots (8)$

★A型の屈折率プロファイルを有する。そして、当該分散シフトファイバの第2実施例は、所定の屈折率を有するとともに、その外径が $2a$ である内側コアと、内側コアの外周に設けられ、内側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が $2b$ である中間コアと、中間コアの外周に設けられ、中間コアよりも高い屈折率を有するとともに、その外径が $2c$ である外側コアと、外側コアの外周に設けられ、外側コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、内側クラッドの外周に設けられ、内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備えたことを特徴としている。

【0032】また、当該分散シフトファイバの第2実施例は、内側クラッドに対する内側コアの比屈折率差が Δn_1 、内側クラッドに対する中間コアの比屈折率差が Δn_2 、内側クラッドに対する外側コアの比屈折率差が Δn_3 、内側クラッドに対する外側クラッドの比屈折率差が Δn_4 であるとき、

☆であることが好ましい。値($\Delta n_3 - \Delta n_2$)は、直径 3.2 mm で曲げられた場合の曲げ損失を 0.5 dB/ターン 以下に抑えるため、 0.2% 以上である必要がある一方、 2 m 長でのカットオフ波長を $2.2 \mu\text{m}$ 以下とするため、 0.7% 以下である必要もある。なお、式(13)は、 1.55 波長帯 の光に対する伝送損失を 0.25 dB/km 以下に抑えるための条件である。

【0034】さらに、当該分散シフトファイバの第2実施例は、内側クラッドの外径が $2d$ であるとき、
 $\dots (14)$

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る分散シフトファイバの実施の形態を図2～図14を用いて説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0037】図2は、この発明に係る分散シフトファイバの代表的な実施形態の断面構造及びその屈折率プロフ

アイルを示す図である。図2に示されたように、この分散シフトファイバ100は、最大屈折率として屈折率 n_1 を有するとともに、その外径が $2a$ である内側コア110と、内側コア110の外周に設けられ、屈折率 n_2 ($< n_1$)を有するとともに、その外径が $2b$ である外側コア120と、外側コア120の外周に設けられ、屈折率 n_3 ($< n_2$)を有するとともに、その外径が $2c$ である内側クラッド210と、内側クラッド210の外周に設けられ、屈折率 n_4 ($> n_3$)を有する外側クラッド2*

$$\begin{aligned} a/b &\leq 0.15 \\ 0.8\% &\leq \Delta n_1 \leq 1.2\% \\ 0.12\% &\leq \Delta n_2 \leq 0.30\% \\ \Delta n_3/\Delta n_2 &\leq 0.95 \\ 1.2 &\leq c/b \leq 3.5 \end{aligned}$$

なる関係を満たしている。

【0039】図3は、内側コア110の外径 $2a$ と外側コア120の外径 $2b$ との比の値 (a/b) と実効コア断面積 A_{eff} との関係を示すグラフである。なお、図3では、 $\Delta n_1 = 1.0\%$ 、 $\Delta n_2 = 0.2\%$ とし、零分散波長 $= 1580\text{nm}$ となるように、内側コア110の外径 $2a$ と外側コア120の外径 $2b$ とを変化させている。図3から、 $(a/b) \leq 0.15$ で、 $A_{eff} \geq 70\mu\text{m}^2$ となることが確認される。

【0040】図4は、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 Δn_1 と波長 1550nm の光に対する分散値 D の絶対値 $|D|$ との関係を示すグラフである。なお、図4では、 $(a/b) = 0.13$ 、 $A_{eff} = 80\mu\text{m}^2$ を満たすように、内側コア110の外径 $2a$ 、外側コア120の外径 $2b$ 、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 Δn_1 、及び内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 を変化させている。図4から、 $\Delta n_1 \geq 0.8\%$ で、 $|D| \geq 1.0\text{ps/nm/km}$ となり、 $\Delta n_1 \approx 1.2\%$ でも $|D| \leq 4.5\text{ps/nm/km}$ であることが確認される。

【0041】図5は、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 Δn_1 と分散スロープとの関係を示すグラフである。なお、図5では、 $(a/b) = 0.13$ 、 $A_{eff} = 80\mu\text{m}^2$ 、直径 3.2mm で曲げた場合の曲げ損失 $= 0.1\text{dB/ターン}$ 、零分散波長 $= 1580\text{nm}$ を満たすように、内側コア110の外径 $2a$ 、外側コア120の外径 $2b$ 、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 Δn_1 、及び内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 を変化させている。図5から、 $\Delta n_1 \geq 1.2\%$ で、分散 ※

$$\lambda_c(L) = \lambda_c(L_0 = 2\text{m}) - 0.184 \times 10^{-10} (L/L_0)$$

に従って変化することが知られている (「T. Kato et al., OECC'96 Technical Digest, July 1996, Makuhari Messe, pp.160-161」参照)。

*20とを備える。以上の構成により、当該分散シフトファイバ100は、ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイル101を実現している。

【0038】そして、当該分散シフトファイバ100は、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差が Δn_1 、内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差が Δn_2 、内側クラッド210に対する外側クラッド220の比屈折率差が Δn_3 のとき、

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

$$\dots (8)$$

※スロープが $0.13\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であることが確認される。

【0042】図6は、内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 と直径 3.2mm で曲げられた場合の曲げ損失との関係を示すグラフである。なお、図6では、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 $\Delta n_1 = 1.0\%$ 、 $(a/b) = 0.13$ 、 $A_{eff} = 80\mu\text{m}^2$ 、零分散波長 $= 1580\text{nm}$ を満たすように、内側コア110の外径 $2a$ 、外側コア120の外径 $2b$ 、及び内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 を変化させている。図6から、 $\Delta n_2 \geq 0.12\%$ で、直径 3.2mm で曲げられた場合の曲げ損失が 0.5dB/ターン 以下であることが確認される。

【0043】図7は、内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 と 2m 基準長でのカットオフ波長との関係を示すグラフである。なお、図7では、内側クラッド210に対する内側コア110の比屈折率差 $\Delta n_1 = 1.0\%$ 、 $(a/b) = 0.13$ 、 $A_{eff} = 80\mu\text{m}^2$ 、零分散波長 $= 1580\text{nm}$ 、 $\Delta n_3/\Delta n_2 = 0.8$ を満たすように、内側コア110の外径 $2a$ 、外側コア120の外径 $2b$ 、内側クラッド210に対する外側コア120の比屈折率差 Δn_2 、及び内側クラッド210に対する外側クラッド220の比屈折率差 Δn_3 を変化させている。

【0044】通常、光ファイバのカットオフ波長 λ_c は、CCITT-G.650で推奨されている、 2m の長さでの曲げ法によって測定される。一方、シングルモード伝送が可能な下限波長としてのカットオフ波長 λ_c は、Sモード光ファイバの長さ L が 2m の場合には、上記の測定結果と一致し、長さ L が増大すると、

$$\dots (15)$$

【0045】一方、この発明に係る分散シフトファイバは、 20km 以上の長距離にわたって $1.55\mu\text{m}$ 波長帯 ($1500\text{nm} \sim 1600\text{nm}$) の信号光を伝送する

ことを想定している。したがって、2m長でのカットオフ波長 $\lambda_c(L_0) \leq 1.5 + 0.732 \mu\text{m} \approx 2.2 \mu\text{m}$ (16)を満たすことが必要となる。

【0046】図7より、 $\Delta n_2 \leq 0.30\%$ で、2m長でのカットオフ波長 $\lambda_c(L_0) \leq 2.2 \mu\text{m}$ となることが確認される。

【0047】図8は、値 $(\Delta n_3/\Delta n_2)$ と伝送損失との関係を示すグラフである。なお、図8では、以下の条件

比屈折率差 $\Delta n_1 = 1.0\%$

外側コア120の比屈折率差 $\Delta n_2 = 0.20\%$

$(a/b) = 0.13$

の下で、内側クラッド210に対する外側クラッド220の比屈折率差 Δn_3 を変化させている。

【0048】図8から、 $(\Delta n_3/\Delta n_2) > 0.95$ では伝送損失が 0.25 dB/km を超えて、急激に大きくなることが確認される。

【0049】図9は、値 (c/b) と直径32mmで曲げられた場合の曲げ損失との関係を示すグラフである。

なお、図9では、以下の条件

比屈折率差 $\Delta n_1 = 1.0\%$

比屈折率差 $\Delta n_2 = 0.20\%$

比屈折率差 $\Delta n_3 = 0.12\%$

半径 $a = 2.1 \mu\text{m}$

$a/b \leq 0.15$

$0.8\% \leq \Delta n_1 \leq 1.2\%$

$0.12\% \leq \Delta n_2 \leq 0.30\%$

$\Delta n_3/\Delta n_2 \leq 0.95$

$1.2 \leq c/b \leq 3.5$

なる関係を満たすので、1550nmの諸特性として、分散値の絶対値が $1.0 \sim 4.5 \text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープの絶対値が $0.13 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、実効コア断面積が $70 \mu\text{m}^2$ 以上であり、 $1.55 \mu\text{m}$ 波長帯の光の伝送損失が 0.25 dB/km 以下、直径32mmで曲げられた場合の曲げ損失が 0.5 dB/ターン 以下という特性を好適に満足する。

【0054】そして、非線形光学効果の発現を有効に抑制可能であり、長距離光伝送に適した分散シフトファイバ好適に実現する。

【0055】一方、この発明は、上述のようなディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルに限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、この発明に係る分散シフトファイバは、ディプレストクラッド・セグメントコア型の屈折率プロファイルに有する分散シフトファイバであってもよい。

【0056】ディプレストクラッド・セグメントコア型

$a/c \leq 0.42$

$b/c \geq 0.60$

$0.5\% \leq \Delta n_1 \leq 1.1\%$

フ波長 $\lambda_c(L_0)$ が、

*半径 $b = 16.0 \mu\text{m}$

の下で、内側クラッド210の外径 $2c$ を変化させている。

【0050】図9から、 $(c/b) < 1.2$ で、直径32mmで曲げられた場合の曲げ損失が 0.5 dB/ターン を超えて、急激に大きくなることが確認される。

【0051】図10は、値 (c/b) と2m長でのカットオフ波長との関係を示すグラフである。なお、図10では、以下の条件

比屈折率差 $\Delta n_1 = 1.0\%$

比屈折率差 $\Delta n_2 = 0.20\%$

比屈折率差 $\Delta n_3 = 0.12\%$

半径 $a = 2.1 \mu\text{m}$

半径 $b = 16.0 \mu\text{m}$

の下で、内層クラッド210の外径 $2c$ を変化させている。

【0052】図10から、 $(c/b) > 3.5$ で、カットオフ波長の低減の効果が飽和していることが確認される。

【0053】すなわち、この発明に係る分散シフトファイバは、ディプレストクラッド/デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルに有する場合、

… (1)

… (2)

… (3)

… (4)

… (8)

30 の屈折率プロファイルに有する分散シフトファイバは、所定の屈折率を有するとともに、その外径が $2a$ である内側コアと、内側コアの外周に設けられ、内側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が $2b$ である中間コアと、中間コアの外周に設けられ、中間コアよりも高い屈折率を有するとともに、その外径が $2c$ である外側コアと、外側コアの外周に設けられ、外側コアよりも低い屈折率を有するとともに、その外径が $2d$ である内側クラッドと、内側クラッドの外周に設けられ、内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備える。

【0057】したがって、波長1550nmにおける上記諸特性を有する当該分散シフトファイバは、内側クラッドに対する内側コアの比屈折率差が Δn_1 、内側クラッドに対する中間コアの比屈折率差が Δn_2 、内側クラッドに対する外側コアの比屈折率差が Δn_3 、内側クラッドに対する外側クラッドの比屈折率差が Δn_4 であるとき、

… (9)

… (10)

… (11)

13

$$0.2\% \leq \Delta n_3 - \Delta n_2 \leq 0.7\% \quad \dots (12)$$

$$\Delta n_4 / \Delta n_3 \leq 0.95 \quad \dots (13)$$

$$1.2 \leq d/c \leq 3.5 \quad \dots (14)$$

なる関係を満たす必要がある。

【0058】なお、ディプレストクラッド/セグメントコア型の屈折率プロファイルの場合、各ガラス領域の屈折率差は以下のように定義される。

$$【0059】 \Delta n_x = (n_x^2 - n_{cl}^2) / (2n_x^2)$$

x: 1, 2, 3, 4

ここで、 n_1 は内側コアの屈折率、 n_2 は中間コアの屈折率、 n_3 は外側コアの屈折率、 n_4 は外側クラッドの屈折率、及び n_{cl} は内側クラッドの屈折率を表している。

【0060】

【実施例】図11は、この発明に係る分散シフトファイバの第1実施例の断面構造及びその屈折率プロファイルを示す図である。図11に示されたように、この分散シフトファイバは、ディプレストクラッド/デュアルシェイブコア型の屈折率プロファイル201を有するとともに、外径2aが4.2μmである内側コア111と、内側コア111の外周に設けられ、外径2bが32μmである外側コア121と、外側コア121の外周に設けられ、外径2cが63μmである内側クラッド211と、内側クラッド211の外周に設けられた外側クラッド221とを備える。

【0061】そして、この第1実施例の分散シフトファイバ200は、上記関係式(1)～(4)、(8)を以下のように満たしている。

$$【0062】 a/b = 0.13 < 0.15$$

$$0.8\% < \Delta n_1 = 0.98\% < 1.2\%$$

$$0.12\% < \Delta n_2 = 0.20\% < 0.30\%$$

$$\Delta n_3 = 0.12\%$$

$$\Delta n_3 / \Delta n_2 = 0.6 < 0.95$$

$$1.2 < c/b = 1.97 < 3.5$$

さらに、波長1550nmにおいて、この第1実施例の分散シフトファイバの特性を測定した結果、

零分散波長=1585nm、

1550nmでの分散値=-3.8ps/nm/km、

分散スロープ=0.111ps/nm²/km、

実効コア断面積 A_{eff} =78.2μm²、

カットオフ波長=1.59μm、

直径32mmで曲げた場合の曲げ損失=0.1dB/ターン、

伝送損失=0.21dB/km

であった。

【0063】次に、図12は、この発明に係る分散シフトファイバの第2実施例の断面構造及びその屈折率プロファイルを示す図である。図12に示されたように、当該分散シフトファイバの第2実施例は、ディプレストクラッド・セグメントコア型の屈折率プロファイル310を有するとともに、外径2aが7.0μmである内側コ

14

ア301と、内側コア301の外周に設けられ、外径2bが13.4μmの中間コア302と、中間コア302の外周に設けられ、外径2cが19.2μmである外側コア303と、外側コア303の外周に設けられ、外径2dが38.4μmである内側クラッド304と、内側クラッド304の外周に設けられた外側クラッド305とを備える。

【0064】そして、この第2実施例の分散シフトファイバ300は、上記関係式(9)～(14)を以下のように満たしている。

$$【0065】 a/c = 0.36 < 0.42$$

$$b/c = 0.7 > 0.60$$

$$0.5\% < \Delta n_1 = 0.72\% < 1.1\%$$

$$0.2\% < (\Delta n_3 - \Delta n_2) = 0.4\% < 0.7\%$$

$$\Delta n_4 / \Delta n_3 = 0.15 < 0.95$$

$$1.2 < d/c = 2 < 3.5$$

さらに、波長1550nmにおいて、この第2実施例の分散シフトファイバの特性を測定した結果、

零分散波長=1567nm、

1550nmでの分散値=-1.8ps/nm/km、

分散スロープ=0.110ps/nm²/km、

実効コア断面積 A_{eff} =81.8μm²、

カットオフ波長=1.74μm、

直径32mmで曲げた場合の曲げ損失=0.1dB/ターン、

伝送損失=0.21dB/km

であった。

【0066】なお、ディプレストクラッド/セグメントコア型の屈折率プロファイルは、図13に示されたように種々の変形が可能である。例えば、図13(a)は、中間コア302の屈折率が内側クラッド304の屈折率よりも高い場合($\Delta n_2 > 0$)の、該ディプレストクラッド/セグメントコア型の屈折率プロファイルの第1応用例を示しており、また、図13(b)は、中間コア302の屈折率が内側クラッド304の屈折率よりも低い場合($\Delta n_2 < 0$)の、該ディプレストクラッド/セグメントコア型の屈折率プロファイルの第2応用例を示している。

【0067】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、この発明に係る分散シフトファイバによれば、零分散波長が少なくとも1.53~1.56μmの波長域内に存在しないとともに、波長1550nmにおける実効コア断面積が70μm²以上に設定されるので、非線形光学効果の発現が有効に抑制される。したがって、非線形光学効果の発現を有効に抑制可能であり、長距離光伝送に適した分散シフトファイバ好適に実現することができる。

【0068】また、この発明に係る分散シフトファイバによれば、ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型の屈折率プロファイルを有するので、曲げ損失を低減することが可能であるとともに、上述された1550nmにおける諸特性を好適に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実効コア断面積 A_{eff} と非線形光学定数(N_2/A_{eff})との関係の例を示すグラフである。

【図2】この発明に係る分散シフトファイバの代表的な実施形態の断面構造及びその屈折率プロファイル(ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型)を示す図である。

【図3】値 (a/b) と実効コア断面積 A_{eff} との関係を示すグラフである。

【図4】比屈折率差 Δn_1 と波長1550nmにおける分散値Dの絶対値 $|D|$ との関係を示すグラフである。

【図5】比屈折率差 Δn_1 と分散スロープとの関係を示すグラフである。

【図6】比屈折率差 Δn_2 と直径32mmで曲げられた場合の曲げ損失との関係を示すグラフである。

【図7】比屈折率差 Δn_2 と2m基準長でのカットオフ波長との関係を示すグラフである。

【図8】値 $(\Delta n_3/\Delta n_2)$ と伝送損失との関係を示すグラフである。

【図9】値 (c/b) と直径32mmで曲げられた場合の曲げ損失との関係を示すグラフである。

【図10】値 (c/b) と2m基準長でのカットオフ波長との関係を示すグラフである。

【図11】この発明に係る分散シフトファイバの第1実施例の断面構造及びその屈折率プロファイル(ディプレストクラッド・デュアルシェイプコア型)を示す図である。

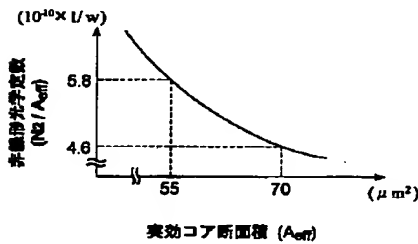
【図12】この発明に係る分散シフトファイバの第2実施例の断面構造及びその屈折率プロファイル(ディプレストクラッド・セグメントコア型)を示す図である。

【図13】図12に示された第2実施例の分散シフトファイバにおける屈折率プロファイルの変形例を示す図である。

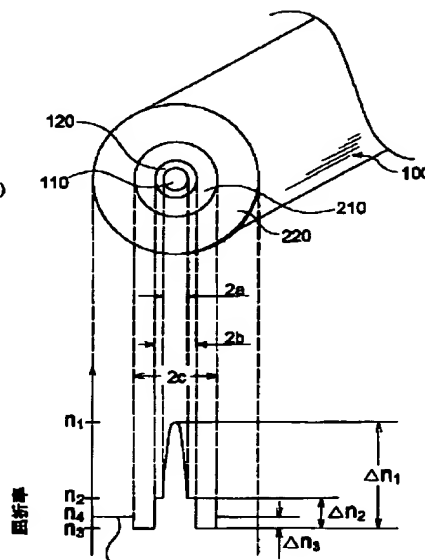
【符号の説明】

110、111、301…内側コア、302…中間コア、120、121、303…外側コア、210、211、304…内側クラッド、220、221、305…外側クラッド。

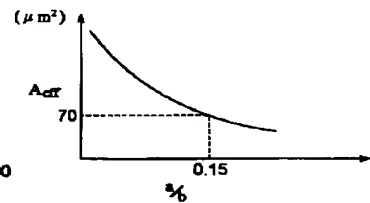
【図1】



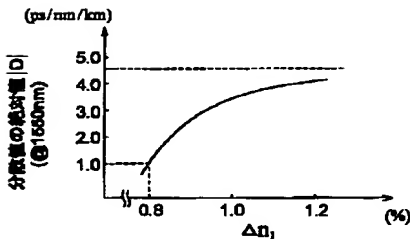
【図2】



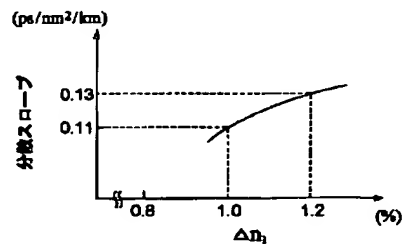
【図3】



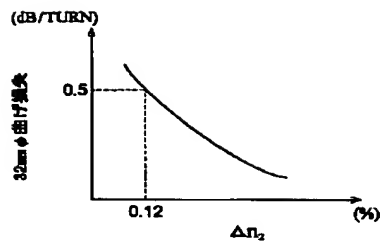
【図4】



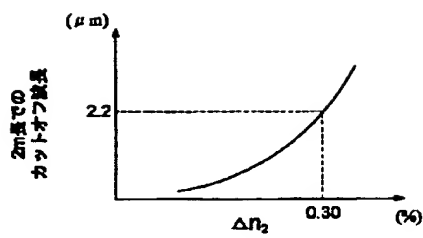
【図5】



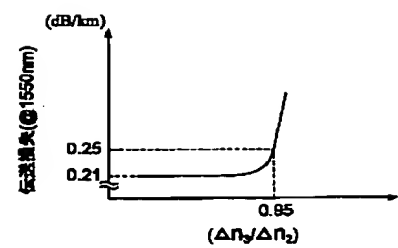
【図6】



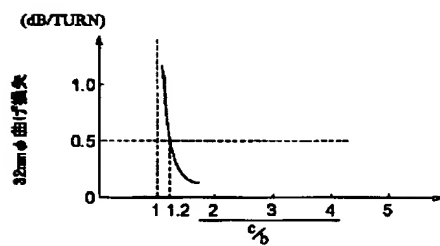
【図7】



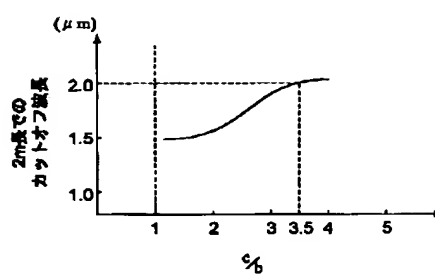
【図8】



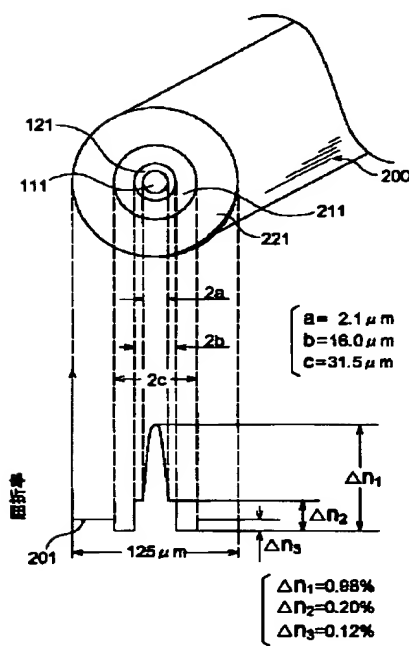
【図9】



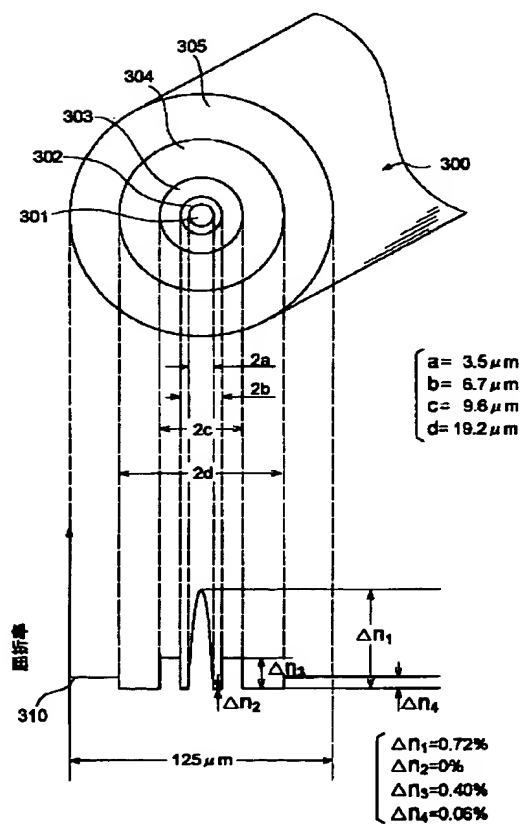
【図10】



【図11】



【図12】



【図 1 3】

